

**JP10295092**

**Title:  
SPEED CONTROLLER OF MOTOR**

**Abstract:**

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To provide the speed controller of a motor by which the response characteristics can be maintained, even if the moment of inertia of a load machine is unknown or fluctuates during operation. **SOLUTION:** A load torque estimation circuit 6 which approximates a torque transmission mechanism 2, a load machine 3 and a motor 1 as one integral element and outputs a load torque estimation signal is provided.

An automatic regulation circuit 8 simulates the torque transmission mechanism 2, the load machine 3 and the motor 1 as one differential element to obtain a simulation torque signal and corrects the differential gain machine constant of the automatic regulation circuit 8, so as to make the deviation between the simulation torque signal and a torque command signal obtained from a torque control circuit 7 zero to identify the moment of inertia of a mechanical system. The mechanical system integral time constant of the load torque estimation circuit 6 and the gain of a speed control circuit 5 are automatically regulated in accordance with the mechanical constant identified.

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平10-295092

(43) 公開日 平成10年(1998)11月4日

(51) Int.Cl.<sup>b</sup>

H 02 P 5/00

識別記号

F I

H 02 P 5/00

X

審査請求 有 請求項の数 1 FD (全 12 頁)

(21) 出願番号 特願平9-114454

(22) 出願日 平成9年(1997)4月16日

(71) 出願人 000106276

サンケン電気株式会社

埼玉県新座市北野3丁目6番3号

(72) 発明者 岩田 誠

埼玉県新座市北野三丁目6番3号 サンケン電気株式会社内

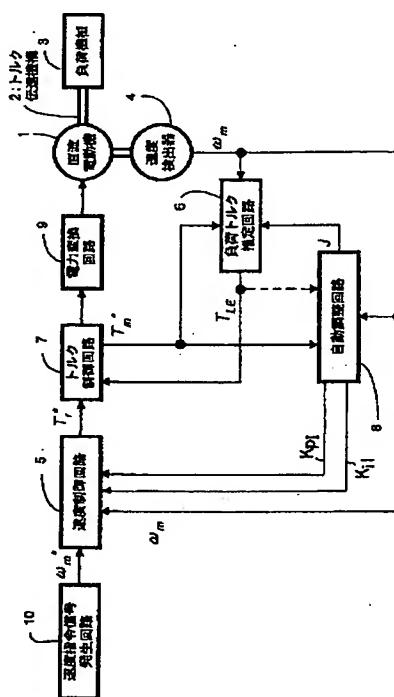
(74) 代理人 弁理士 高野 則次

(54) 【発明の名称】 電動機の速度制御装置

(57) 【要約】

【課題】 電動機の速度制御において、負荷機械の慣性モーメントが未知の場合や運転中に変化するような場合でも、速度制御の応答性を一定に保つことが困難であった。

【解決手段】 トルク伝達機構2、負荷機械3および電動機1を一つの積分要素として近似して負荷トルク推定信号を出力する負荷トルク推定回路6を設ける。自動調整回路8はトルク伝達機構2、負荷機械3および電動機1を一つの微分要素として模擬した模擬トルク信号と、トルク制御回路7から得られるトルク指令信号との偏差が0となるように自動調整回路8の微分ゲイン機械定数を修正することにより機械系の慣性モーメントを同定する。そしてこの同定した機械定数に応じて負荷トルク推定回路6の機械系積分時定数と速度制御回路5のゲインを自動調整する。



(2)

1

## 【特許請求の範囲】

【請求項 1】トルクの伝達機構を介して負荷機械を駆動する電動機と、前記電動機の回転速度を検出する速度検出器と、前記電動機の速度指令信号および前記速度検出器から出力された実速度信号に基づいてトルク基準指令信号を出力する速度制御回路と、前記トルク伝達機構、負荷機械および電動機を一つの積分要素として模擬した模擬速度信号と前記実速度信号に基づいて負荷トルク推定信号を出力する負荷トルク推定回路と、前記トルク基準指令信号と前記負荷トルク推定信号に基づいてトルク指令信号を生成するトルク制御回路と、前記トルク指令信号に基づいて前記電動機のトルクを制御する制御手段と、前記負荷トルク推定信号を入力とする自動調整回路とを備え、前記自動調整回路は前記トルク伝達機械、負荷機械および電動機を一つの微分要素として模擬した模擬トルク信号と前記トルク指令との偏差が0となるように前記自動調整回路の微分ゲインである機械系慣性モーメントを求め、これに応じて前記負荷トルク推定回路の積分時定数および前記速度制御回路のゲインを修正するように形成されていることを特徴とする電動機の速度制御装置。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【産業上の利用分野】この発明は、例えば工作機械、産業用ロボット、鉄鋼プラントの圧延ロールのような負荷機械を駆動する電動機（直流電動機、誘導電動機、同期電動機など）の速度制御装置に関するものである。特に、負荷機械の慣性モーメントが未知の場合や慣性モーメントが変化するような場合でも速度制御応答性が一定に保たれるような自動調整機能を備えた電動機の速度制御装置に関するものである。

## 【0002】

【従来の技術】従来の電動機の速度制御装置を、図9を参照しながら説明する。図9は従来の電動機の速度制御装置を示すブロック図であり、1は直流電動機、2はトルク伝達機構、3は負荷機械、4は速度検出器、5は速度制御回路、7はトルク制御回路、9は電力変換回路、10は速度指令信号発生回路である。次に、上述した従来装置の動作をまず負荷トルク推定回路6を省略した場合について説明する。トルク基準指令信号 $T_r^*$ が、速度制御回路5によって出力される。すなわち、速度指令信号発生回路10から出力された速度指令信号 $\omega_m^*$ と、速度検出器4から出力された実速度信号 $\omega_m$ との偏差に基づいて、トルク基準指令信号 $T_r^*$ が出力されてトルク制御回路7に供給される。なお、通常、速度制御回路5ではP I制御演算が行われる。即ち、上記偏差を示す信号をP I（比例積分）回路を通す。つづい

2

て、電力変換回路9に供給される制御信号がトルク制御回路7によって形成される。即ち、トルク制御回路7では直流電動機1の発生トルクがトルク基準指令信号 $T_r^*$ に追従するように電力変換回路9を動作させるための制御信号が形成され、これが電力変換回路9に供給される。このように、直流電動機1の速度フィードバック制御を行う速度制御系によれば、高い安定性および高い応答性を得ることができるということはよく知られている。なお、直流電動機1の発生トルクは、電機子電流にほぼ比例するので、速度制御の応答性の向上を図るために、通常、トルク制御回路7の内部には電流フィードバックループ制御処理回路が設けられる。この場合は、速度制御回路5から出力されたトルク基準指令信号 $T_r^*$ を係数倍して得られる電流指令信号と、図示を省略した電流検出器から出力された電機子電流信号との偏差に基づいて、直流電動機1の発生トルクがトルク基準指令信号 $T_r^*$ に追従するように電力変換回路9を動作させる制御信号が形成され、電力変換回路9に供給される。この電流フィードバック制御系は、トルク制御ループとして動作するため、この電流フィードバック制御系の応答周波数が速度制御系の応答周波数の数倍以上となるように、トルク制御回路7を設計すると、高い安定性を有する速度制御系を実現できることが知られている。また、速度制御回路5の出力側にトルク制限回路を設け、前記のトルク基準指令信号を係数倍して得られる電流指令信号の振幅を制限すると、直流電動機1に供給される電機子電流の最大値を制限することが可能である。

【0003】ところで、直流電動機1に機械的なトルク伝達機構2を介して負荷機械3を接続した場合、トルク伝達機構2の剛性が十分高ければ、直流電動機1、トルク伝達機構2および負荷機械3から構成される機械系は等価的に一つの剛体とみなせるので、前述した従来の速度制御装置を用いても高い応答周波数の速度制御系を実現することができ、未知の外乱要素である負荷トルクに対する影響を低減することも可能となる。しかしながら、速度制御回路5においては速度指令信号 $\omega_m^*$ に対する応答周波数を低く設定した場合には、無負荷駆動時には満足する応答性が得られても前記負荷トルク入力に対する影響は顕著になり、速度制御装置として仕様を満足する応答周波数を有する速度制御系の実現が困難であった。つまり、速度指令信号 $\omega_m^*$ に対する実速度信号の応答特性と負荷トルクに対する実速度信号の応答特性は、どちらも速度制御回路5の制御ゲイン設計のみにより決定する1自由度の速度制御系構成となっているためである。

【0004】そこで、この問題点を解決するための一手段として、負荷トルク推定回路6が付加された。次に、この負荷トルク推定回路6の動作について説明する。まず、負荷トルク推定回路6の内部においてトルク伝達機構2、負荷機械3および電動機1を一つの積分要素とし

(3)

3

て模擬した回路ブロックにトルク基準指令信号  $T_r^*$  を入力し模擬速度信号を出力する。模擬した積分器の時定数は電動機 1、トルク伝達機構 2 および負荷機械 3 の慣性モーメントの総和を時定数に換算した値に設定される。つづいて、上記模擬速度信号と、速度検出器 4 から出力された実速度信号  $\omega_m$  との偏差に基づいて、負荷トルク推定信号  $T_{LE}$  が発生されトルク制御回路 7 に供給される。つづいて、トルク制御回路 7 において、速度制御回路 5 から出力されたトルク基準指令信号  $T_r^*$  に、負荷トルク推定回路 6 から出力された負荷トルク推定信号  $T_{LE}$  を加えたトルク指令信号  $T_m^*$  に直流電動機 1 の発生トルク  $T_m$  が追従するように、電力変換回路 9 を動作させる制御信号が形成されて、電力変換回路 9 に供給される。このとき、速度制御回路 5 の制御ゲインは従来と同様に設計する。つまり、速度指令信号  $\omega_m^*$  に対する実速度信号  $\omega_m$  の応答は速度制御回路 5 で設計された制御ゲインに応じた特性となり、また負荷トルクに対する実速度信号  $\omega_m$  の応答特性は速度制御回路 5 の制御ゲイン設計によらず、負荷トルク推定回路 6 から出力されたトルク制御回路 7 に供給される高速に推定された負荷トルク推定信号  $T_{LE}$  により補償されるため、速度指令信号と負荷トルクに対して独立した実速度の応答特性を有する 2 自由度の速度制御系を実現することが可能となる。

#### 【0005】

【発明が解決しようとする課題】上述したような従来の電動機の速度制御装置では、負荷機械 3 の慣性モーメントが一定の場合は、負荷トルク推定回路 6 の付加によって速度指令信号と負荷トルクに対して独立した実速度応答特性を有する 2 自由度の速度制御系を実現することが可能である。しかしながら、電動機単体を負荷とした場合には速度制御回路 5 のゲインや負荷トルク推定回路 6 の積分器時定数を予め最適値に設定することは可能であるが、負荷機械が接続された場合には、速度制御回路 5 のゲインや負荷トルク推定回路 6 の積分器時定数の設定値を再調整しなければならないという問題があった。また産業用ロボットのように、負荷機械となるアームの慣性モーメントがその位置によって大きく変化するような場合は、速度制御回路 5 のゲインや負荷トルク推定回路 6 の積分器時定数が一定値あるため、アーム位置によって、速度指令信号の変化に対する速度制御系の応答が変化し仕様を満足しない結果となるという問題もあった。この発明は、これらの課題を解決するためになされたもので、負荷機械の慣性モーメントが未知の場合や運転中に変化するような場合でも、速度制御系の応答特性を維持することが可能となる電動機の速度制御装置を提供することを目的とする。

#### 【0006】

【課題を解決するための手段】上記課題を解決し、上記目的を達成するための本発明は、トルクの伝達機構を介して負荷機械を駆動する電動機と、前記電動機の回転速

4

度を検出する速度検出器と、前記電動機の速度指令信号および前記速度検出器から出力された実速度信号に基づいてトルク基準指令信号を出力する速度制御回路と、前記トルク伝達機構、負荷機械および電動機を一つの積分要素として模擬した模擬速度信号と前記実速度信号に基づいて負荷トルク推定信号を出力する負荷トルク推定回路と、前記トルク基準指令信号と前記負荷トルク推定信号に基づいてトルク指令信号を生成するトルク制御回路と、前記トルク指令信号に基づいて前記電動機のトルクを制御する制御手段と、前記負荷トルク推定信号を入力とする自動調整回路とを備え、前記自動調整回路は前記トルク伝達機構、負荷機械および電動機を一つの微分要素として模擬した模擬トルク信号と前記トルク指令との偏差が 0 となるように前記自動調整回路の微分ゲインである機械系慣性モーメントを求め、これに応じて前記負荷トルク推定回路の積分時定数および前記速度制御回路のゲインを修正するように形成されていることを特徴とする電動機の速度制御装置に係わるものである。

#### 【0007】

【発明の作用及び効果】この発明における自動調整回路は、トルク伝達機構、負荷機械および電動機を一つの微分要素として模擬した模擬トルク信号を演算し、またトルク制御回路から出力されるトルク指令信号を入力し、模擬トルク信号とトルク指令信号との偏差が 0 となるよう、この自動調整回路の微分ゲインを修正するとともに、負荷トルク推定回路の積分器時定数、速度制御回路のゲインも自動調整する。従って、負荷機械の慣性モーメントが未知の場合や、運転中に変化するような場合でも、速度制御系の応答特性を維持することができる。

#### 【0008】

【第1の実施例】以下、この発明の第1の実施例に係わる速度制御装置の構成を、図1～図5を参照しながら説明する。図1に示す第1の実施例の速度制御装置における直流電動機 1、トルク伝達機構 2、負荷機械 3、速度検出器 4、速度制御回路 5、トルク制御回路 7、電力変換回路 9、速度指令信号発生回路 10 は図9の従来装置で同一符号で示すものと全く同一のものである。図1の第1の実施例の速度制御装置は、上述した図9の従来装置と全く同一の部分の他に、負荷トルク推定回路 6 と自動調整回路 8 を有する。自動調整回路 8 は速度検出器 4 に接続された入力ライン、トルク制御回路 7 に接続された入力ラインを有し、この出力ラインは速度制御回路 5 及び負荷トルク推定回路 6 に接続されている。この実施例における直流電動機 1 の発生トルクの制御手段は、トルク制御回路 7 と、電力変換回路 9 とから構成されている。

【0009】図2は、上述した速度制御回路 5 の詳細な構成を示すブロック図である。図2において、速度制御回路 5 は、通常 P I (比例積分) 制御回路と呼ばれ、速度指令信号発生回路 10 に接続された入力端子 21a

(4)

5

と、速度検出器4に接続された入力端子21bと、これら入力端子21a、21bに接続された減算器22と、自動調整回路8に接続された入力端子20aと、この入力端子20a及び減算器22に接続された乗算器23と、自動調整回路8に接続された入力端子20bと、この入力端子20b及び減算器22に接続された乗算器24と、乗算器24に接続された積分器25と、乗算器23と積分器25に接続された加算器26と、この加算器26に接続された制限回路27と、この制限回路27に接続された出力端子28とから構成されている。

【0010】図3は、上述した負荷トルク推定回路6の詳細な構成を示すブロック図である。図3において、負荷トルク推定回路6は、トルク制御回路7に接続された入力端子30aと、速度検出器4に接続された入力端子30bと、自動調整回路8に接続された入力端子30cと、入力端子30aと出力端子36に接続された減算器31と、この減算器31と入力端子30cに接続された除算器32と、除算器32と接続された積分器33と、この積分器33と入力端子30bに接続された減算器34と、減算器34に接続された増幅器35と、この増幅器35に接続された出力端子36から構成されている。

【0011】図4は、上述したトルク制御回路7の詳細な構成を示すブロック図である。図4において、トルク制御回路7は、速度制御回路5に接続された入力端子40aと、負荷トルク推定回路6に接続された入力端子40bと、図示しない電流検出器に接続された入力端子40cと、入力端子40aと40bに接続された加算器41と、この加算器41に接続された制限回路42と、この制限回路42に接続された演算器43と、入力端子40dと演算器43に接続された減算器44と、この減算器44に接続された比例増幅器45と、減算器44に接続された積分器46と、比例増幅器45と積分器46に接続された加算器47と、この加算器47に接続されたPWM回路(パルス幅変調回路)48と、このPWM回路48に接続された出力端子49aと、制限回路42に接続された出力端子49bから構成されている。

【0012】図5は、上述した自動調整回路8の詳細な構成を示すブロック図である。図5において、自動調整回路8は、トルク制御回路7に接続された入力端子50aと、度検出器4に接続された入力端子50bと、入力端子50bに接続された微分器51と、この微分器51と出力端子60aに接続された乗算器52と、入力端子50aと乗算器52に接続された減算器53と、入力端子50aに接続された極性検出回路54と、この極性検出回路54と減算器53に接続された乗算器55と、この乗算器55に接続された積分器56と、積分器56と初期値設定器57に接続された加算器58と、加算器58に接続された係数器又は乗算器又は増幅器と呼ぶこともできる演算器59a、59bと、加算器58に接続された出力端子60aと、演算器59aに接続された出力

6

端子60bと、演算器59bに接続された出力端子60cとから構成されている。

【0013】次に、第1の実施例の装置の動作を、図1～図5を参照しながら説明する。まず、図2で示す速度制御回路5において、速度偏差信号 $\omega_e$ が、減算器22から出力される。すなわち、速度指令信号発生回路10から入力端子21aを経由して入力された速度指令信号 $\omega_m^*$ と速度検出器4から入力端子21bを経由して入力された実速度信号 $\omega_m$ との速度偏差信号 $\omega_e (= \omega_m^* - \omega_m)$ が求められて、乗算器23および24に供給される。

【0014】つづいて、トルク基準指令信号 $T_r^*$ が、加算器26によって形成され、制限回路27を経由して出力端子28から出力される。即ち、自動調整回路8から入力端子20aを経由して入力された比例ゲイン $K_{p1}$ と、減算器22から出力された速度偏差信号 $\omega_e$ とが乗算器23に入力され乗算される。また、自動調整回路8から入力端子20bを経由して入力された積分ゲイン $K_{i1}$ と、減算器22から出力された速度偏差信号 $\omega_e$ とが乗算器24に入力され、乗算され、積分器25に供給される。さらに、積分器25の出力と、乗算器23の出力との和が加算器26により求められて制限回路27に供給される。この制限回路27は、トルク基準指令信号 $T_r^*$ の絶対値の最大値を制限する働きをする。

【0015】つづいて、図3で示す負荷トルク推定回路6において、模擬速度 $\omega_{me}$ が積分器33によって出力される。すなわち、トルク制御回路7から入力端子30aを経由して入力されたトルク指令信号 $T_m^*$ と、増幅器35から出力される負荷トルク推定値 $T_{LE}$ との偏差が減算器31によって形成される。そして、この減算器31の出力と、自動調整回路8から入力端子30cを経由して入力された慣性モーメント $J$ とが除算器32に入力される。さらに、除算器32の出力が積分器33に入力される。そして、この積分器33において積分演算が行われ模擬速度信号 $\omega_{me}$ として出力される。即ち、模擬速度信号 $\omega_{me}$ は積分時定数が慣性モーメント $J$ に等しい積分器に、トルク指令信号 $T_m^*$ と負荷トルク推定値 $T_{LE}$ との偏差( $= T_m^* - T_{LE}$ )を入力することによって得られる。さらに、積分器33から出力される模擬速度信号 $\omega_{me}$ と、速度検出器4から入力端子30bを経由して入力された実速度信号 $\omega_m$ の偏差が減算器34によって形成される。そして、減算器34により求まる模擬速度信号 $\omega_{me}$ と実速度信号 $\omega_m$ の偏差が増幅器35を経由し、負荷トルク推定信号 $T_{LE}$ として出力端子36に出力される。なお、増幅器35のゲインは通常、負荷トルクが高速に推定できるように、可能な限り大きな値が予め設定される。

【0016】つづいて、図4で示すトルク制御回路において、トルク指令信号 $T_m^*$ が加算器41によって形成される。すなわち、速度制御回路5から入力端子40a

(5)

7

を経由して入力されたトルク基準指令信号  $T_r^*$  と、負荷トルク推定回路 6 から入力端子 40 b を経由して入力された負荷トルク推定信号  $T_{LE}$  との和であるトルク指令信号  $T_m^*$  ( $= T_r^* + T_{LE}$ ) が加算器 41 により求められて、制限回路 42 に供給される。この制限回路 42 は、速度制御回路 5 の制限回路 27 の働きと同様に、トルク指令信号  $T_m^*$  の絶対値の最大値を予め決められた設定値に制限する働きをする。

【0017】つづいて、電機子電流指令信号  $I_a^*$  が、演算器 43 から出力される。すなわち、公知のように、直流電動機 1 の発生トルク  $T_m$  と電機子電流  $I_a$  との関係は式(1)で示される。なお、 $K_T$  はトルク定数である。

$$T_m = K_T \times I_a \quad (1)$$

したがって、演算係数が  $1/K_T$  の演算器 43 にトルク指令信号  $T_m^*$  が入力されると、電機子電流指令信号  $I_a^*$  が求められる。つづいて、電流偏差信号  $I_e$  ( $= I_a^* - I_a$ ) が減算器 44 によって出力される。すなわち、演算器 43 から出力された電機子電流指令信号  $I_a^*$  と、図示しない電流検出器から入力端子 40 c を経由して入力された実際の電動機 1 の電機子電流  $I_a$  との差である電流偏差信号  $I_e$  が求められ、比例増幅器 45 および 46 積分器 46 に供給される。さらに、端子電圧指令信号  $V^*$  が、加算器 47 によって出力される。すなわち、比例増幅器 45 の出力と積分器 46 の出力との和である端子電圧信号  $V^*$  が求められ、PWM回路 48 に供

$$\omega_m / \omega_m^* = (K_{p1}s + K_{i1}) /$$

ここで、負荷トルクがもたらす定常状態での速度制御誤差への影響は、負荷トルク推定回路 6 により出力される負荷トルク推定信号  $T_{LE}$  の補正により補償できるため、速度制御回路 5 における積分ゲイン  $K_{i1}$  は通常 0 として設定される。この場合、式(2)は式(3)のように変形できる。

$$\omega_m / \omega_m^* = K_{p1} / (J_r s + K_{p1}) \quad (3)$$

また、速度制御系の応答仕様として式(4)のように設定する。ここで、 $\omega_c$  は速度制御系の設計仕様上の応答周波数である。

$$\omega_m / \omega_m^* = \omega_c / (s + \omega_c) \quad (4)$$

式(4)のように速度制御系の特性を実現するには、速度制御回路の比例ゲイン  $K_{p1}$  は式(5)を用いて設定される。すなわち、電動機 1、トルク伝達機構 2 および負荷機械 3 の総慣性モーメント  $J_r$  に応じた比例ゲインの調整が必要となる。

$$K_{p1} = J_r \omega_c \quad (5)$$

【0019】さて次に、負荷トルク推定回路 6 の積分時定数を修正するための方法について、図 7 に示すトルク偏差信号演算回路のブロック図を参照しながら説明する。まず、負荷トルク推定回路 6 の積分時定数  $J$  が実際の機械系の慣性モーメント  $J_r$  と異なる場合は、速度指令信号  $\omega_m^*$  に対する実速度信号  $\omega_m$  の応答と、模擬速

\* 給される。この PWM回路 48 は、端子電圧指令信号  $V^*$  に基づいて、例えば、4 象限チョッパ回路から構成された電力変換回路 9 の、4つのスイッチング素子のオンオフ信号を出力する。なお、PWM回路 48 の構成などは公知であるので、詳細な説明を省略する。そして、直流電動機 1 の端子電圧  $V$  が端子電圧指令信号  $V^*$  に追従するように、電力変換回路 9 および PWM回路 48 によって制御される。以上の説明から、直流電動機 1 の発生トルク  $T_m$  が、トルク指令信号  $T_m^*$  に追従するよう 10 に、図 4 で示したトルク制御回路 7 および電力変換回路 9 によって制御されることが理解される。

【0018】次に、速度制御回路 5 の比例ゲイン  $K_{p1}$  および積分ゲイン  $K_{i1}$  の設定方法を、図 6 を参照しながら説明する。通常、トルク制御系の応答特性が速度制御系の応答特性に比べ十分高速になるようにトルク制御回路 7 の電機子電流制御器である比例増幅器および積分器の各ゲインが予め適切に設定されるため、入力を速度指令信号  $\omega_m^*$  とし出力を実速度信号  $\omega_m$  とした場合の等価ブロック図は図 6 のように示される。図 6において、  
20  $K_{p1}$  および  $K_{i1}$  はそれぞれ、上述したように、速度制御回路 5 の比例ゲインおよび積分ゲインである。また、 $J_r$  は電動機 1、トルク伝達機構 2 および負荷機械 3 を等価的に一つの剛体とみなした実際の機械系の総慣性モーメントである。図 6 から速度指令信号  $\omega_m^*$  に対する実速度信号  $\omega_m$  の伝達関数は、下記の式(2)で示される。なお、以下の式における  $s$  はラプラス演算子を示す

$$(J_r s^2 + K_{p1}s + K_{i1}) \quad (2)$$

度信号  $\omega_m$  の応答との間に偏差が生じる。同様な考え方で、図 7 に示すように、電動機 1、トルク伝達機構 2 および負荷機械 3 を一つの微分要素として模擬し、実速度信号から模擬トルク信号  $T_{me}$  を求める。そして、トルク指令信号  $T_m^*$  との偏差を検出することにより、上述の模擬トルク信号  $T_{me}$  を求めるために設定した慣性モーメントと実際の機械系の慣性モーメントの誤差に相当した物理量を抽出する。図 7 のトルク偏差信号  $e_T$  ( $= T_m^* - T_{me}$ ) を整理すると、式(6)のように変形できる。ここで、 $J$  は模擬トルク信号  $T_{mc}$  を求めるために設定した慣性モーメントで、 $J_r$  は実際の機械系の慣性モーメントである。

$$e_T = \{1 - (J/J_r)\} \cdot T_m^* \quad (6)$$

【0020】トルク偏差信号  $e_T$  の極性は、慣性モーメント設定誤差の極性  $\{1 - (J/J_r)\}$  とトルク指令信号  $T_m^*$  の極性を乗じたものであることがわかる。すなわち、設定した慣性モーメント  $J$  が実際の機械系慣性モーメント  $J_r$  よりも小さい場合のトルク偏差信号  $e_T$  の極性は、トルク指令信号  $T_m^*$  が正の加速中には正となり、トルク指令信号  $T_m^*$  が負の減速中には負となる。逆に、設定した慣性モーメントが実際の機械系慣性モーメントよりも大きい場合のトルク偏差信号  $e_T$  の極性は、加速中は負で減速中は正となる。したがって、ト  
50

(6)

9

トルク指令信号  $T_m^*$  の極性に応じてトルク偏差信号  $e_T$  の極性補正を行い、この極性補正した偏差が 0 となるように、模擬トルク信号  $T_{me}$  を求めるために設定した慣性モーメント  $J$  の値を修正すればよいことがわかる。例えば、トルク指令信号  $T_m^*$  の極性が正で、トルク偏差信号  $e_T$  の極性も正である場合には、慣性モーメント設定値  $J$  を大きくすればよく、逆にトルク指令信号  $T_m^*$  の極性が正で、トルク偏差信号  $e_T$  の極性が負の場合には、慣性モーメント設定値  $J$  を小さくすればよい。このようにして、模擬トルク信号の演算に用いる微分係数の慣性モーメント  $J$  と、負荷トルク推定回路の模擬速度信号の演算に用いる積分時定数の慣性モーメント  $J$  の値が修正されると、式(5)を利用して速度制御回路 5 の比例ゲイン  $K_{p1}$  および積分ゲイン  $K_{i1}$  の値も、実際の機械系の慣性モーメントに応じて調整することが可能である。ただし、上述したように、負荷トルク推定回路 6 より出力される負荷トルク推定信号  $T_{LE}$  を、速度制御回路 5 により出力されるトルク基準指令信号  $T_m^*$  に加算補正する構成では、速度制御回路 5 における積分ゲイン  $K_{i1}$  は 0 でもよい。

【0021】つづいて、図 5 で示す自動調整回路 8において、負荷トルク推定回路 6 の積分時定数すなわち慣性モーメント  $J$  が加算器 5.8 から出力される。すなわち、トルク制御回路 7 から入力端子 5.0a を経由して入力されたトルク指令信号  $T_m^*$  が極性検出回路 5.4 に供給され、極性信号  $S_{Tm}^*$  が出力される。ここで、極性信号  $S_{Tm}^*$  の値は、トルク指令信号  $T_m^*$  の極性が正の場合は 1、負の場合は -1 とする。つづいて、乗算器 5.2 から模擬トルク信号  $T_{me}$  が出力される。すなわち、速度検出器 4 から入力端子 5.0b を経由して入力された実速度  $\omega_m$  が微分器 5.1 に供給され加速度信号  $\omega_a$  が求められる。そして、加速度信号  $\omega_a$  と慣性モーメント  $J$  との積が模擬トルク信号  $T_{me}$  として乗算器 5.2 によって求められ、減算器 5.3 に供給される。そして、減算器 5.3 では、トルク制御回路 7 から入力端子 5.0a を経由して入力されたトルク指令信号  $T_m^*$  と模擬トルク信号  $T_{me}$  との偏差が求められ、乗算器 5.5 に供給される。つづいて、極性検出回路 5.4 から出力される極性信号  $S_{Tm}^*$  と減算器 5.3 から出力される偏差  $e_T$  即ちトルク指令信号と模擬トルク信号の偏差 ( $T_m^* - T_{me}$ ) との積が乗算器 5.5 によって求められ、積分器 5.6 に供給される。さらに、この積分器 5.6 から出力された慣性モーメントの補正值  $J_c$  と、初期値設定器 5.7 から出力された慣性モーメントの初期設定値  $J_{init}$  との和が求められ、慣性モーメント  $J$  としての出力端子 6.0a に出力される。このとき、慣性モーメントの初期設定値  $J_{init}$  は、例えば、直流電動機 1 の慣性モーメントの値が用いられる。

【0022】さらに、速度制御回路 5 の比例ゲイン  $K_{p1}$  および積分ゲイン  $K_{i1}$  が outputされる。すなわち、慣性モーメント  $J$  を演算器 5.9a および 5.9b にそれぞれ入力

10

すると式(5)の演算により、速度制御回路 5 の比例ゲイン  $K_{p1}$  が求められ、出力端子 6.0b から出力される。なお、積分ゲイン  $K_{i1}$  は上述したように 0 に固定した値の設定値として出力端子 6.0c から出力される。

【0023】以上のことから、トルク指令信号  $T_m^*$  と模擬トルク信号  $T_{me}$  との偏差に極性信号  $S_{Tm}^*$  を補正した値が減少するように、積分器 5.6 によって慣性モーメント  $J$  の修正値を求めるとともに、修正された慣性モーメント  $J$  を用いて式(5)の演算によって速度制御回路 5 の比例ゲイン  $K_{p1}$  および積分ゲイン  $K_{i1}$  を修正することにより、機械系の慣性モーメントが変化しても、仕様として与えられた応答特性を維持するために必要なトルク基準指令信号  $T_r^*$  が速度制御回路 5 から出力されることが理解される。

【0024】

【第2の実施例】図 1 で示された第1の実施例において、慣性モーメント  $J$  の設定値が、その実際の機械系の慣性モーメントに一致している状況であっても、負荷機械 3 に定常的な負荷トルクが印加されている場合には、自動調整回路 8 において、慣性モーメントが間違って同定される場合がある。この理由を以下に説明する。設定した慣性モーメントがその実際値に一致していて、かつ負荷機械 3 に定常的な負荷トルクが印加されている状況下では、直流電動機 1 の速度は、速度指令信号発生回路 1.0 から出力される速度指令信号  $\omega_m^*$  に追従するよう、負荷トルク推定回路 6 から出力される負荷トルク推定信号  $T_{LE}$  により補償されるため、速度検出器 4 から出力された実速度信号  $\omega_m$  も速度指令信号  $\omega_m^*$  に追従する。しかし、トルク制御回路 7 から出力されるトルク指令信号  $T_m^*$  には、負荷トルク推定回路 6 から出力される負荷トルク推定信号  $T_{LE}$  が加わっている。このため、自動調整回路 8 において、トルク偏差信号  $e_T$  は慣性モーメントの設定誤差に比例した成分の信号が出力されるのではなく、負荷トルク成分信号として出力されるため、これが 0 となるように自動調整することにより、正しく調整設定された慣性モーメントの値から間違った慣性モーメントの値に修正されてしまう場合もある。

【0025】このような場合は、加減速運転中かそうでないかを判別し、トルク指令信号  $T_m^*$  に負荷トルク推定信号  $T_{LE}$  を補正してトルク偏差信号  $e_T$  を求めるようにしてもよい。例えば、加減速中の場合には、トルク制御回路 7 から出力されるトルク指令信号  $T_m^*$  から負荷トルク推定回路 6 で出力される負荷トルク推定信号  $T_{LE}$  を差し引き、この信号と模擬トルク信号  $T_{me}$  の偏差をトルク偏差信号  $e_T$  として扱い、これが 0 となるように慣性モーメント  $J$  を自動調整する。また、加減速中でない場合には自動調整を実行しないようにする。加減速中の判別は速度指令信号  $\omega_m^*$  に想定される速度制御応答よりも若干遅い応答特性を有するローパスフィルタを付加し、この出力信号の変化の絶対値が予め設定した閾値よ

(7)

11

りも大きい場合には加減速中と判定し、閾値以下の場合には定常中と判定するようにすればよい。通常の電動機の速度制御装置においては、加減速期間中に負荷トルクが急変することはまれで、定的な負荷トルクが印加される場合が多い。このため、このように自動調整回路8の構成をえることにより、負荷機械3に負荷トルクが印加される場合でも慣性モーメントは正しく自動調整され、これにより速度制御回路5のゲインも正しく自動調整される。なお、第2の実施例においては、図1で破線で示すように負荷トルク推定信号 $T_{LE}$ を自動調整回路8に送る。

## 【0026】

【第3の実施例】図8はこの発明の第3の実施例の速度制御装置の全体を示すブロック図であり、電動機の位置制御系を構成した場合の一例である。図8において、直流電動機1、トルク伝達機構2、負荷機械3、速度制御回路5、負荷トルク推定回路6、トルク制御回路7、自動調整回路8、電力変換回路9、速度指令信号発生回路10は上記第1の実施例を示す図1で同一符号で示すものと全く同一である。

【0027】図8において、第3の実施例の装置は、上述した第1の実施例と全く同一のものに、直流電動機1の回転速度および回転角を検出する位置・速度検出器1と、位置制御回路12と、位置指令信号発生回路13とを付加した構成とされている。位置制御回路12は、位置指令信号発生回路13から入力された位置指令信号 $\theta_n^*$ と位置信号 $\theta_m$ との偏差に基づいて、速度指令信号 $\omega_m^*$ を出力する。その他の動作は、第1の実施例と同じである。この第3の実施例では、機械系の慣性モーメントの変化によらず速度指令信号 $\omega_m^*$ の変化に対する直流電動機1の実速度信号 $\omega_m$ の応答は一定に保たれるので、機械系の慣性モーメントの変化によらず常に応答周波数が一定の電動機の位置制御装置が得られる。

## 【0028】

【第4の実施例】上述した実施例では、負荷トルク推定回路6により出力される負荷トルク推定信号 $T_{LE}$ を、速度制御回路5により出力されるトルク基準指令信号 $T_m^*$ に加算補正し、速度制御回路5の積分ゲイン $K_{i1}$ を0として比例制御を行う構成で説明したが、負荷トルク推定値 $T_{LE}$ をトルク基準指令信号 $T_m^*$ に補正しない構成、つまり速度制御回路5の積分ゲインを0に設定しないPI制御のみで負荷トルクによる影響も補償させる一般的な構成の場合では、自動調整回路8により出力される修正した慣性モーメントJに応じて速度制御回路5の比例増幅器および積分器の各ゲインと、負荷トルク推定回路の積分時定数を自動調整してもよい。この実施例においても、機械系の慣性モーメントの変化によらず速度指令信号 $\omega_m^*$ の変化に対する直流電動機1の実速度信号 $\omega_m$ の応答特性を維持することが可能な速度制御装置が得られる。

12

## 【0029】

【第5の実施例】上述した各実施例では、直流電動機1を用いた場合を説明したが、誘導電動機や同期電動機を用いてもよい。すなわち公知のベクトル制御により、これらの交流電動機の発生トルクを直流電動機並の高速応答性もって制御できるので、トルク指令信号に追従できるようにこれらの交流電動機の発生トルクを制御することは容易であり、初期の目的を達成することは可能である。

- 10 【0030】各実施例の発明では、自動調整回路8を付加し、この回路における慣性モーメント設定値に基づく模擬トルク信号と、トルク指令信号の偏差が0となるよう慣性モーメント設定値を自動調整するとともに、負荷トルク推定回路6の積分時定数および速度制御回路5のゲインについても自動調整するようにしたので、負荷機械3の慣性モーメントが未知の場合や、運転中に変化するような場合でも、速度制御系の応答特性を維持することができるという効果を得ることができる。

## 【図面の簡単な説明】

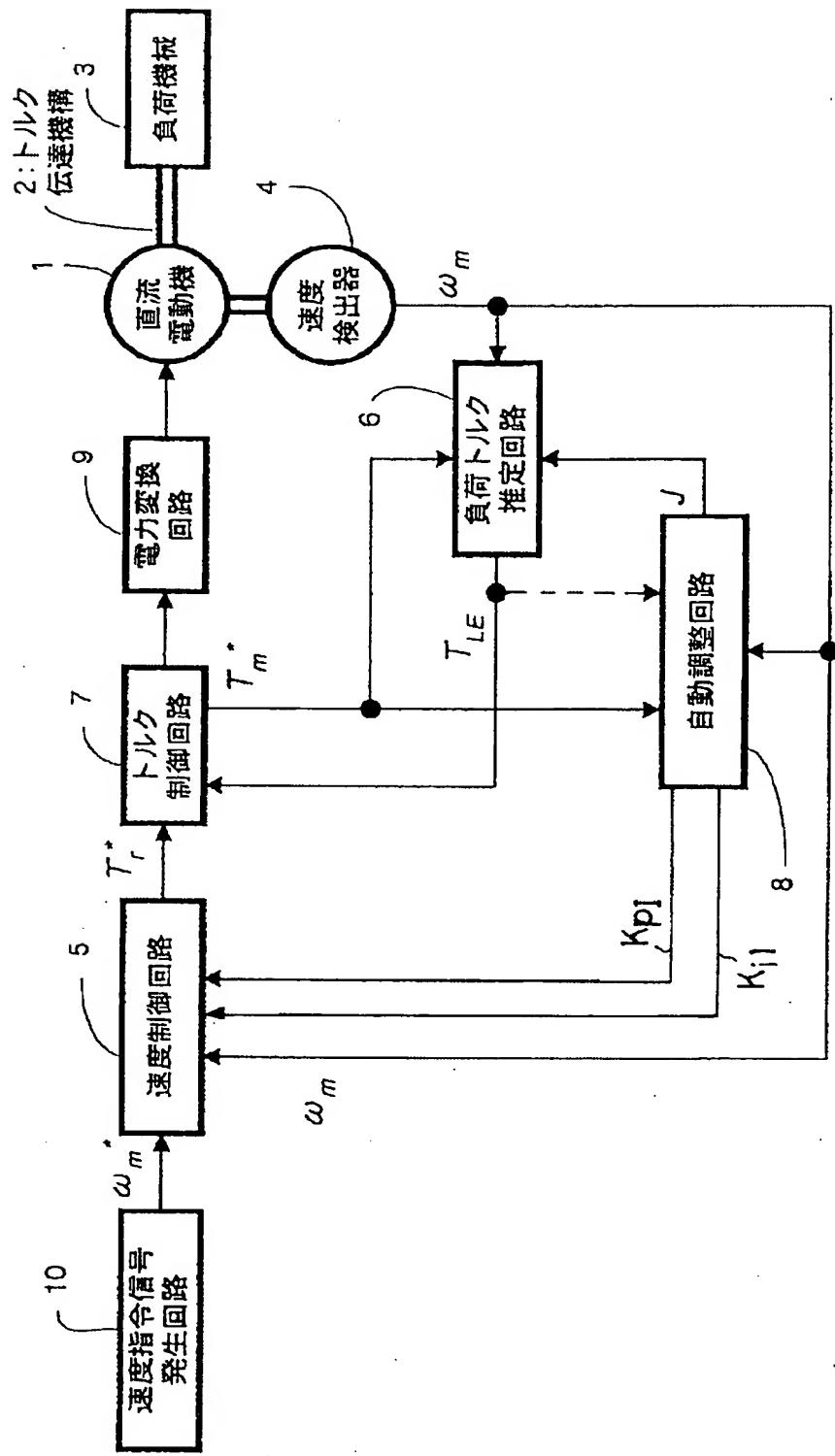
- 20 【図1】第1の実施例の速度制御装置を示すブロック図である。  
 【図2】第1の実施例の速度制御回路を示すブロック図である。  
 【図3】第1の実施例の負荷トルク推定回路を示すブロック図である。  
 【図4】第1の実施例のトルク制御回路を示すブロック図である。  
 【図5】第1の実施例の自動調整回路を示すブロック図である。  
 30 【図6】第1の実施例の速度制御回路および機械系模擬要素による速度制御系等価ブロック図である。  
 【図7】第1の実施例のトルク偏差信号演算回路を示すブロック図である。  
 【図8】第3の実施例を示すブロック図である。  
 【図9】従来の速度制御装置を示すブロック図である。

## 【符号の説明】

- 1 直流電動機  
 2 トルク伝達機構  
 3 負荷機械  
 40 4 速度検出器  
 5 速度制御回路  
 6 負荷トルク推定回路  
 7 トルク制御回路  
 8 自動調整回路  
 9 電力変換回路  
 10 速度指令信号発生回路  
 11 位置・速度検出器  
 12 位置制御回路  
 13 位置指令信号発生回路

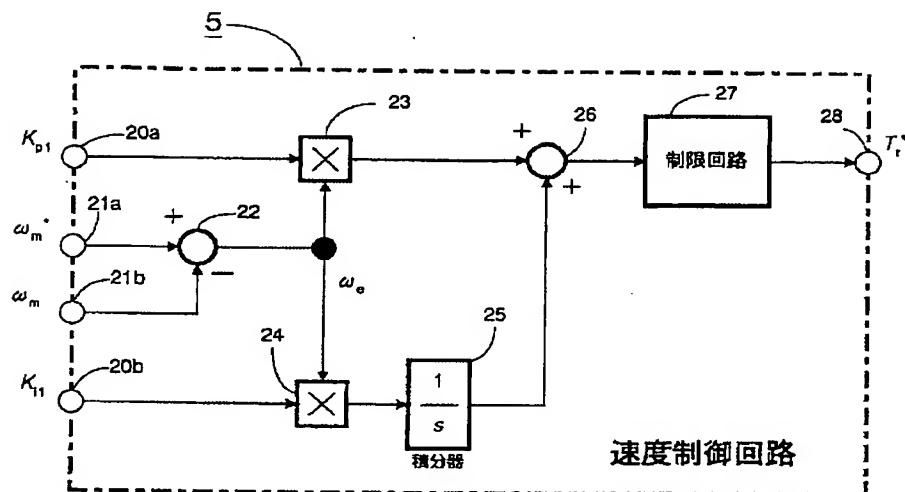
(8)

【図1】

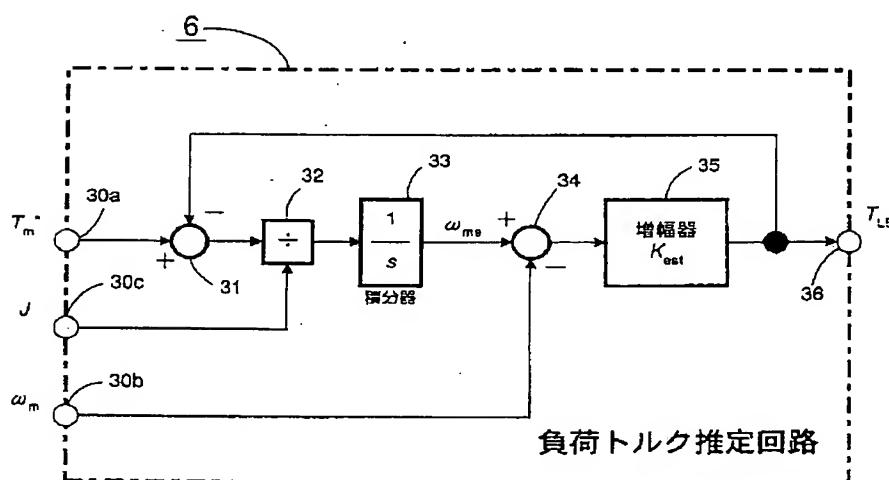


(9)

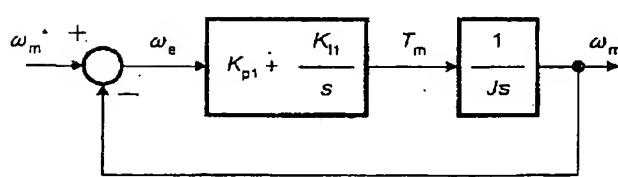
【図2】



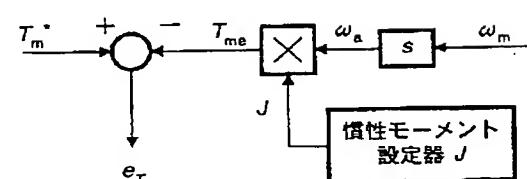
【図3】



【図6】

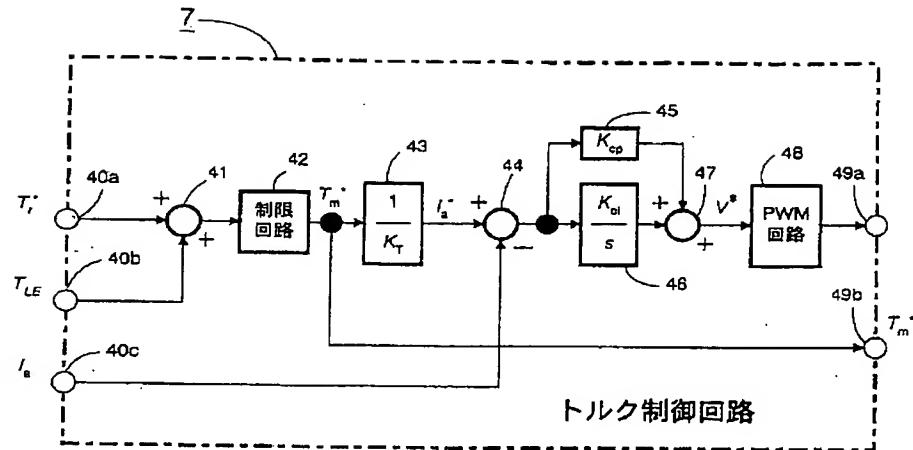


【図7】

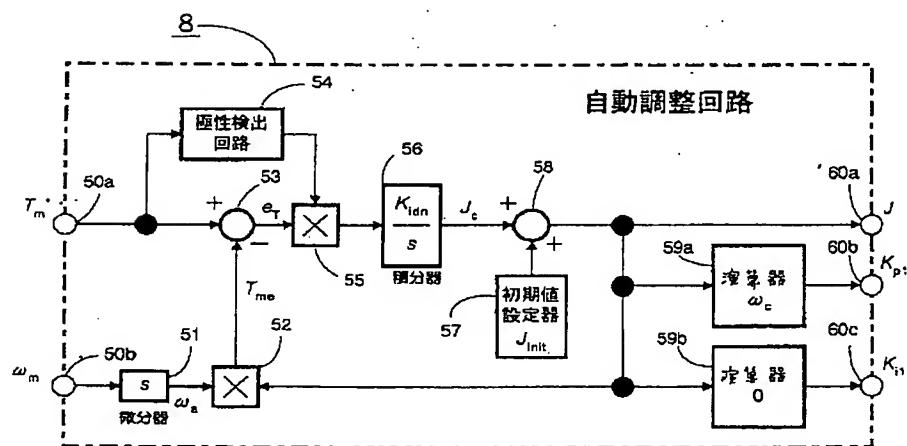


(10)

【図4】

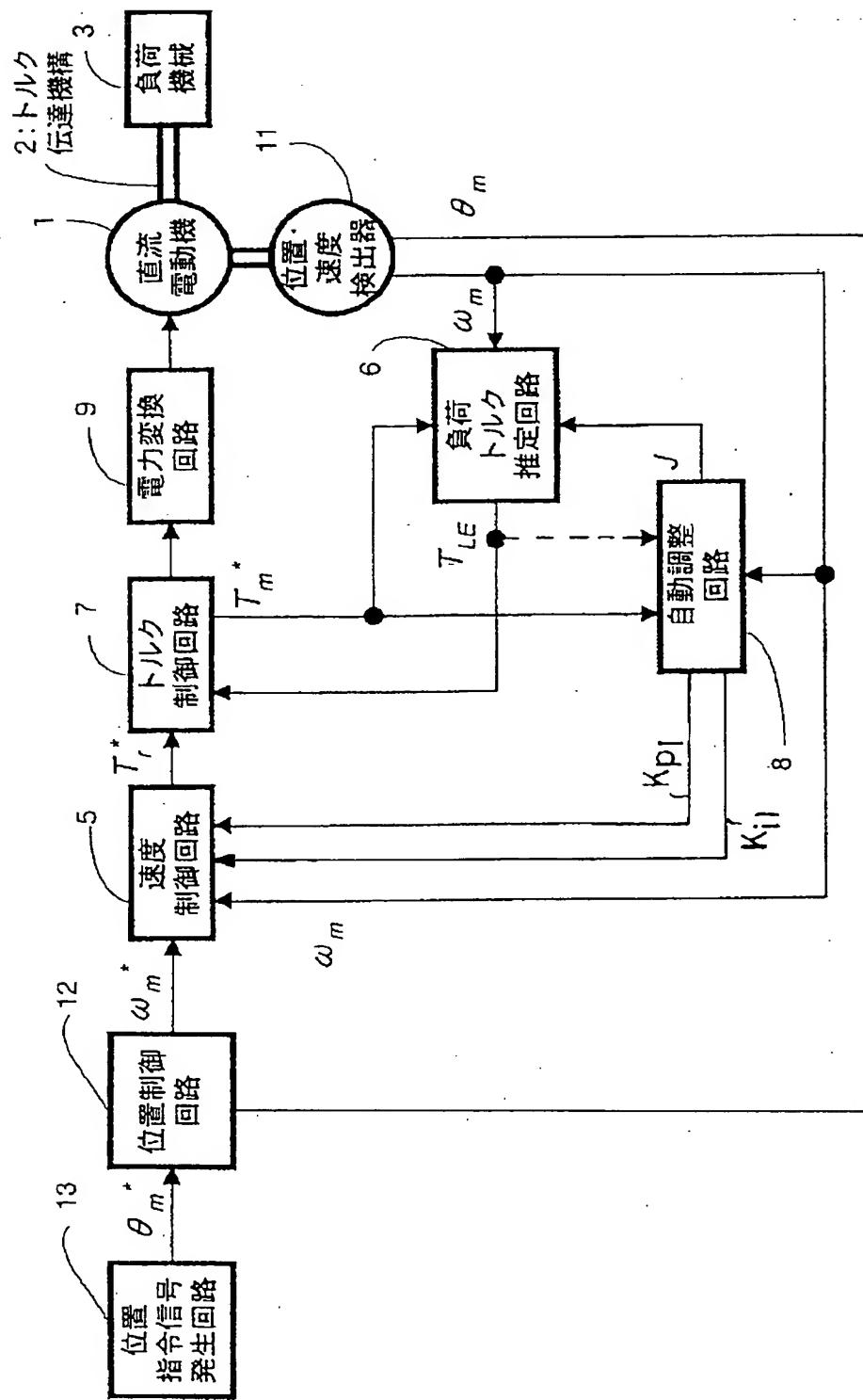


【図5】



(11)

【図8】



(12)

【図9】

